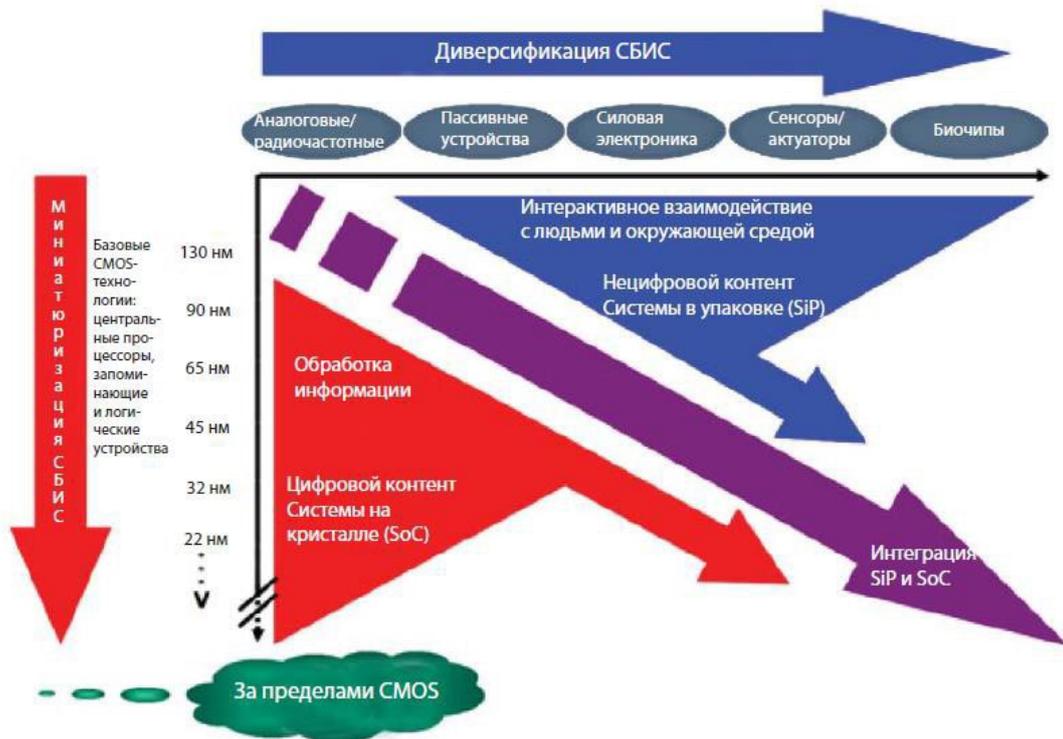


В.Л. Ткалич, А.Г. Коробейников,
О.И. Пирожникова, М.Я. Марусина

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МИКРОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКЕ



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**В.Л. Ткалич, А.Г. Коробейников,
О.И. Пирожникова, М.Я. Марусина**

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ИНТЕГРИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В МИКРОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКЕ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

**РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО
по направлениям подготовки 10.03.01 и 11.03.03
в качестве учебного пособия для реализации основных профессиональных
образовательных программ высшего образования бакалавриата**

ИТМО

Санкт-Петербург

2024

Ткалич В.Л., Коробейников А.Г., Пирожникова О.И., Марусина М.Я. Перспективы развития интегрированных технологий в микросистемной технике. Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2024. – 54 с.

Рецензент: Копытенко Юрий Анатольевич, доктор физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник, СПбФ ИЗМИРАН.

В учебном пособии представлены тенденции и перспективы развития интегрированных автоматизированных технологий в микросистемной технике. Рассмотрены вопросы многоуровневой адаптации интегрированных автоматизированных систем управления и создания единого информационного пространства. Освещены теоретические основы интегрированных технологий в микросистемной технике. Учебное пособие предназначено для бакалавров, обучающихся по направлениям подготовки 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств» и 10.03.01 «Информационная безопасность» по дисциплине «Интегрированные технологии микросенсорной техники». Учебное пособие может быть полезно магистрантам и аспирантам, обучающимся по соответствующим специальностям.

The logo of ITMO University, consisting of the letters 'ITMO' in a bold, black, sans-serif font. The 'I' and 'T' are connected, and the 'O' is a solid circle.

ИТМО (Санкт-Петербург) — национальный исследовательский университет, научно-образовательная корпорация. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию. Приоритетные направления: IT и искусственный интеллект, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art&Science, Science Communication.

Лидер федеральной программы «Приоритет-2030», в рамках которой реализуется программа «Университет открытого кода». С 2022 ИТМО работает в рамках новой модели развития — научно-образовательной корпорации. В ее основе академическая свобода, поддержка начинаний студентов и сотрудников, распределенная система управления, приверженность открытому коду, бизнес-подходы к организации работы. Образование в университете основано на выборе индивидуальной траектории для каждого студента.

ИТМО пять лет подряд — в сотне лучших в области Automation & Control (кибернетика) Шанхайского рейтинга. По версии SuperJob занимает первое место в Петербурге и второе в России по уровню зарплат выпускников в сфере IT. Университет в топе международных рейтингов среди российских вузов. Входит в топ-5 российских университетов по качеству приема на бюджетные места. Рекордсмен по поступлению олимпиадников в Петербурге. С 2019 года ИТМО самостоятельно присуждает ученые степени кандидата и доктора наук.

© Университет ИТМО, 2024

© Ткалич В.Л., Коробейников А.Г.,
Пирожникова О.И., Марусина М.Я., 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	4
ВВЕДЕНИЕ	5
РАЗДЕЛ 1. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МИКРОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ.....	6
1.1 Перспективные технологии МЭМС и МСТ	6
1.1.1. Оптические фильтры.....	6
1.1.2. Пикопроекторы.....	6
1.1.3. “Электронный нос”	6
1.1.4. Микроспикеры.....	7
1.1.5. Ультразвуковые МЭМС.....	7
Контрольные вопросы к разделу 1.1	8
1.2. Тенденции развития интегральных датчиков неэлектрических величин технологии МЭМС и МСТ	10
Контрольные вопросы к разделу 1.2.....	12
1.3. Инерциальные микромеханические датчики ММД 2020.....	13
Контрольные вопросы к разделу 1.3.....	15
1.4. Перспективы развития технологии МСТ	16
Контрольные вопросы к разделу 1.4.....	18
1.5. Тенденции развития и преимущества современных технологий изготовления МСТ	20
Контрольные вопросы к разделу 1.5.....	23
РАЗДЕЛ 2. СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРОБЛЕМЫ И ТЕНДЕНЦИИ ИНТЕГРИРОВАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МСТ	26
2.1. Теоретические основы интегрированных технологий в микросистемной технике	26
2.1.1. Многоуровневая адаптация в интегрированных АСУ	28
2.1.2. Единое информационное пространство	29
Контрольные вопросы к разделу 2.1	32
2.2. Тенденции и перспективы развития интегрированных технологий.....	39
Контрольные вопросы к разделу 2.2.....	40
Ответы на контрольные вопросы	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	49
ЛИТЕРАТУРА	50

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АСУ – автоматизированная система управления

ЖЦ – жизненный цикл

ИАС – интегрированная автоматизированная система

ИАСУ – интегрированная автоматизированная система управления

ИТ – информационные технологии

МДД – микродатчик давления

ММА – микромеханический акселерометр

ММГ – микромеханический гироскоп

МСТ – микросистемная техника

МЭМС – микроэлектромеханическая система

ЧЭ – чувствительный элемент

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня затруднительно назвать такую сферу человеческой деятельности, где бы не использовались информационные технологии (ИТ). Человечество прочно связало себя с рынком информации. Применение ИТ с их современными возможностями неразрывно взаимосвязано с задачами повышения компетентности и общей технической грамотности современных выпускников технических вузов страны.

Информационная культура обучающегося подразумевает: понимание закономерностей, лежащих в основе информационных процессов, способность осуществлять поиск и сбор информации, оценивать ее полноту, а также достоверность и объективность, обладать компьютерными навыками и применять полученную информацию для правильного принятия решения в технических вопросах.

Для сегодняшнего производства необходима система, согласующая научные и инженерные знания и навыки с применением ИТ. Аналитическая обработка информации и системный подход в решении инженерных проблем является важнейшим элементом информационной деятельности. Адекватное представление об эффективной работе с объектами информации в сфере интеллектуальной деятельности зависит от текущего состояния информационных технологий. Свою роль играет правильная оценка перспектив развития и наличие современных информационных ресурсов.

Учебное пособие содержит 2 раздела, каждый из которых заканчивается контрольными вопросами, позволяющими студентам закрепить пройденный материал. Первый раздел учебного пособия позволяет освоить материал при контактной работе преподавателя и студентов (лекции). Второй раздел будет полезен при выполнении лабораторных работ и также способствует хорошему восприятию лекционного материала. При выполнении СРС рекомендуется обратить внимание на литературу, приведённую в конце учебного пособия [23,27, 28].

Данное пособие может быть рекомендовано для использования преподавателями и студентами при изучении дисциплины “Интегрированные технологии микросенсорной техники”, реализуемой по бакалаврской программе “Технология защиты информации” (по направлению 11.03.03 “Конструирование и технология электронных средств”) и специализации “Проектирование средств защиты информации”, а также реализуемой по бакалаврской программе “Технология защиты информации” (по направлению 10.03.01 “Информационная безопасность”) и специализации “Проектирование средств защиты информации”.

В ходе освоения данной дисциплины студенты приобретают определённые компетенции, в частности ПК-С2.1 “Способен разработать комплекс конструкторской технической документации на средства защиты информации”.

РАЗДЕЛ 1. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МИКРОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ

1.1 Перспективные технологии МЭМС и МСТ

Эксперты, оценивающие перспективы и тенденции развития МЭМС-технологий, говорят о применении их в переносных интернет-устройствах.

1.1.1. Оптические фильтры

Использование оптических фильтров, например, в гиперспектральных датчиках, инфракрасных фильтрах, датчиков для поляризации света, позволит расширить функционал изображений в сотовых телефонах и ноутбуках. Перспективна также интеграция CMOS-датчиков, используемых для визуального отображения информации, с устройствами, которые снабжены узкополосными фильтрами и зеркалами (Рисунок 1) [1].

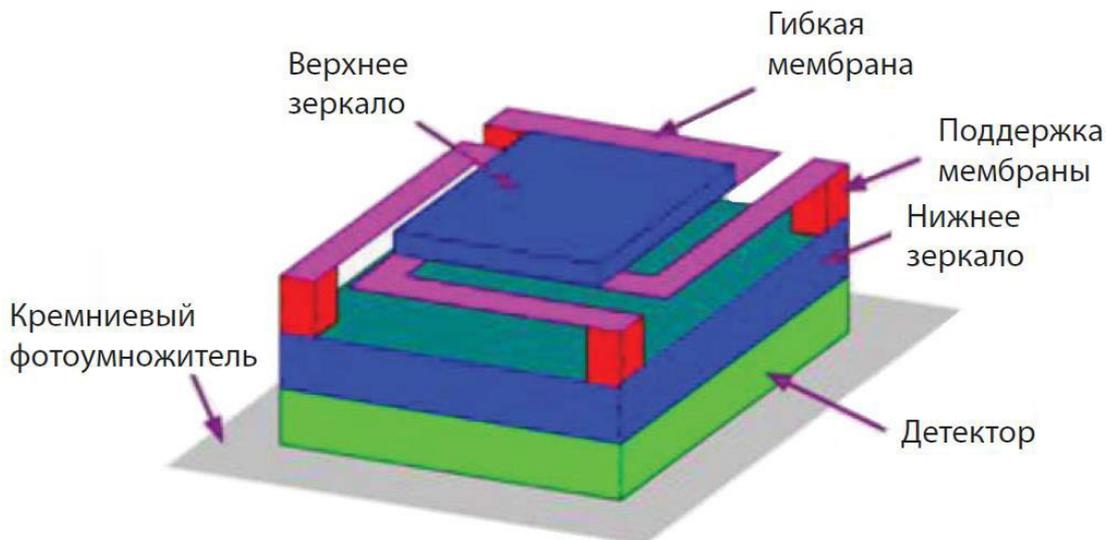


Рисунок 1. Схематическая структура узкополосного оптического фильтра

1.1.2. Пикoprojectоры

Они позволяют визуализировать собеседника, слайды и т.д., проецируя видеоизображение на стену или экран, что актуально для использования в учебном процессе. Основной недостаток этих устройств – невысокое разрешение. Необходимо использовать более эффективные источники света, что позволит снизить электропотребление

1.1.3. “Электронный нос”

Возрастает потребность в создании датчиков для мониторинга биохимического состояния экосистемы и окружающей нас среды.

«Электронный нос» выполняет функцию выборочного сенсорного элемента, имитируя механизм обоняния млекопитающих. Перечень технологий, которые перспективны при разработке этого переносного устройства, достаточно широкий.

1.1.4. Микроспикеры

Здесь задача состоит в достижении высокого звукового давления при условиях применения малоразмерных устройств (громкоговорителях в смартфонах). Целесообразен переход к цифровым спикерам.

1.1.5. Ультразвуковые МЭМС

Микроразмерные трансдюсеры, работающие в ультразвуковом диапазоне, вытесняют пьезоэлектрические устройства. Преимуществом этих устройств является то, что они легко интегрируются с CMOS-технологиями. Эти устройства актуальны для телемедицины при дистанционном мониторинге здоровья человека, а также устройства могут функционировать в довольно широком диапазоне частот (свыше 10 МГц), что является важным для многоцелевых, многофункциональных, а также высокоточных отображающих систем [1].

Контрольные вопросы к разделу 1.1

1. В каких интернет-устройствах найдут применение МЭМС-технологии в ближайшем времени:
 - оптические фильтры, пикопроекторы;
 - «электронный нос»;
 - микроспикеры, ультразвуковые МЭМС;
 - все вышеперечисленное является перспективами развития МЭМС-технологий.
2. Что могут и для чего предназначены оптические фильтры на базе МЭМС-технологий:
 - позволяют расширить функционал изображения в сотовых телефонах и ноутбуках (гиперспектральные сенсоры, инфракрасные фильтры, сенсоры для поляризации света);
 - для визуализации отображения информации устройствами, снабженными узкополосными фильтрами и зеркалами (интеграция CMOS-сенсоров);
 - и то, и другое возможно;
 - нет верного ответа.
3. Что позволяют реализовать пикопроекторы:
 - позволяют визуализировать собеседника, слайды и т.д., проецируя видеоизображение на стену или экран (актуально для учебного процесса);
 - у них высокое разрешение;
 - имеют эффективные источники света для качественного изображения;
 - низкое энергопотребление.
4. Для чего предназначено устройство «электронный нос» на базе МЭМС-технологии.
 - осуществлять мониторинг биохимического состояния окружающей нос среды;
 - выполняет функцию выборочного сенсорного элемента, имитируя механизм обоняния млекопитающих;
 - и то, и другое верно;
 - нет правильного ответа.
5. Для чего нужны микроспикеры на базе МЭМС-технологий:
 - для достижения высокого звукового давления при условиях применения малоразмерных устройств (в громкоговорителях, в смартфонах);
 - целесообразен при переходе к цифровым спикерам;
 - и то, и другое актуально;
 - нет верного ответа.
6. Назначение ультразвуковых МЭМС:

- микроразмерные трансдьюсеры, работающие в ультразвуковом диапазоне, вытесняют пьезоэлектрические устройства (преимущества этих устройств в том, что они легко интегрируются с CMOS-технологиями)
- эти устройства актуальны для телемедицины при дистанционном мониторинге здоровья
- они способны функционировать в широком диапазоне частот (свыше 10 МГц), что важно для многоцелевых и высокоточных отображающих систем;
- все вышеизложенное актуально в применении.

1.2. Тенденции развития интегральных датчиков неэлектрических величин технологии МЭМС и МСТ

Применение кремния в качестве конструктивного материала при изготовлении чувствительных элементов (ЧЭ) и упругих подвесов МЭМС-устройств обосновывается как технологией (возможность использования групповых методов обработки, фотолитографии, травления, диффузии, эпитаксии и окисления), так и физическими свойствами Si, например, большой предел упругости (более высокий, чем у нержавеющей стали), плотность близка к плотности Al. У монокремния предсказуемая реакция на внешнее физическое воздействие (нагружение, деформация, изгиб и т. д.). По пределу упругости монокремний превосходит многие традиционно используемые материалы.

Кремний устойчив к циклическим механическим нагрузкам (не проявляет эффекта усталости), стоек к коррозии, а также имеет широкий рабочий температурный диапазон и отсутствие гистерезиса.

Такие качества материала кремния, как малая плотность и высокая упругость, позволили выбрать его в качестве материала для изготовления ЧЭ малых массогабаритных параметров для устройств МСТ, в частности МЭМС. Эти ЧЭ обладают рабочим диапазоном частот \approx МГц, устойчивы к механическим, температурным и электромагнитным воздействиям с условием сохранения требуемых свойств и характеристик.

Сегодня существует такое научно-техническое направление, как разработка интегральных датчиков неэлектрических величин, которые выполняются в виде микроструктур из монокристаллического кремния на базе технологий микроэлектроники. При этом они соединяют в себе качества механического и токопроводящего ЧЭ и выполняют функции электромеханического элемента или схемы, например, датчика состояния ЧЭ с измерительным мостом или силовой части датчика компенсации и т. д. К таким датчикам первичной информации, выполненным по технологии микроэлектроники, относятся микродатчики давления (МДД), датчики температурного и магнитного полей, радиационного излучения, вибрационные датчики, датчики линейного и углового ускорения, угловой скорости. Приведем примеры.

1. МДД с ЧЭ, полученные по технологии микроэлектроники, содержат мембрану с неподвижными обкладками, образующими герметичную полость между обкладкой и мембраной. Область применения этих датчиков весьма разнообразна: измерение давления в трубопроводах, определение высоты, скорости, воздушных углов в летательных аппаратах, измерители артериального давления.

2. Датчики измерения температуры активные (основаны на эффекте Зеебека термо-ЭДС) и пассивные (основаны на изменении сопротивления с изменением температуры). Эти датчики оценивают, как саму температуру

объекта, так и локальные очаги с резким скачком температуры в отдельных компонентах изделия.

3. Датчики измерения магнитного поля (магниторезистивные мосты) позволяют определить углы объекта с высокой точностью по магнитному полю Земли. Эти датчики нашли применение в навигационных аппаратах, а также для определения положения ротора, работающего в двигателе с постоянными магнитами. Применяются они также и в тахометрах.

4. Датчики вибрации и линейного ускорения основаны на инерциальных свойствах объекта. С учётом высокой повторяемости геометрии и массогабаритных параметров ЧЭ и упругого подвеса такие МЭМС-датчики широко используются в бытовой и автомобильной технике, в которой вся электроника сформирована на одном кристалле.

В микромеханических акселерометрах (ММА) систем навигации применение ЧЭ совместно с электромеханической схемой привело к увеличению точности измерения линейного ускорения на два порядка.

Создан ряд ММА, в которых использованы кремниевые ЧЭ и упругие подвесы, обладающие, благодаря типу выбранного материала, высокой прочностью с диапазоном измерения ускорений до 2000g, используемых в артиллерии.

В вибрационных гироскопах, позволяющих измерять угловую скорость и ускорение, применяются ЧЭ с несколькими степенями свободы и раздельной схемой компоновки маятника (в них упругие подвесы имеют повышенную жёсткость). В этих микромеханических гироскопах (ММГ) снижено ускорение и в 10-15 раз повышена вибропрочность и точность гироскопа.

В волновых твердотельных гироскопах, принцип действия которых основан на эффекте стоячей волны, что позволяет сохранить ориентацию в пространстве, ЧЭ представляет собой кольцо с упругими подвесами. Колебание в ЧЭ возбуждаются электростатическим методом. Оценка параметров движения происходит вследствие изменения ёмкости (между неподвижными электродами датчика угла и ЧЭ).

Дальнейшее совершенствование и развитие технологии позволит увеличить точность датчиков МСТ, изготовленным по МЭМС-технологиям, расширит и сферу применения данных устройств. Совершенствование именно технологического процесса производства ЧЭ на основе кремния существенно повлияет на точность существующих датчиков без кардинальных изменений их конструкции.

Контрольные вопросы к разделу 1.2

1. Чем обусловлено применение кремния в качестве конструкционного материала при изготовлении чувствительных элементов и упругих подвесов МЭМС устройств:
 - технологическими возможностями (возможность использования групповых методов обработки, фотолитографии, травления, диффузии, эпитопсии и окисления);
 - физическими свойствами Si (большой предел упругости, плотность близка к Al, кремний устойчив к циклическим механическим нагрузкам);
 - и тем, и другим;
 - нет верного ответа.
2. Что такое интегральные датчики неэлектрических величин:
 - эти датчики выполняются в виде микроструктур из монокристаллического кремния на базе технологий микроэлектроники;
 - эти датчики имеют микроструктуры, соединяющие в себе качества механического и токопроводящего чувствительного элемента
 - эти датчики имеют микроструктуры, выполняющие функции электромеханического элемента или схемы, например, датчика состояния чувствительного элемента с измерительным мостом или силовой части датчика компенсации и т.д.;
 - всё вышеизложенное может характеризовать интегральные датчики неэлектрических величин.
3. Что относится к датчикам первичной информации, выполненным по технологии микроэлектроники:
 - микродатчики давления;
 - датчики температурного и магнитного поля, радиационного излучения;
 - вибрационные датчики, датчики линейного и углового ускорений, угловой скорости;
 - все вышперечисленное может быть отнесено к датчикам первичной информации.
4. Что содержат микродатчики давления с чувствительным элементом:
 - содержат мембрану с неподвижными обкладками, образующими герметичную полость между обкладкой и мембраной (применяются для измерения давления в трубопроводах, определения высоты, скорости, воздушных условий в метательных аппаратах, в измерителях артериального давления); +
 - содержат мембрану с подвижными обкладками и квадратную полость.

1.3. Инерциальные микромеханические датчики ММД 2020

ММД обладают сверхмалыми массогабаритами и низким энергопотреблением. Могут выполняться с цифровыми и аналоговыми выходами.

МЭМС подразделяются на сенсоры, которые преобразуют физические воздействия в электронный сигнал, и актюаторы, которые преобразуют сигнал в какое-либо воздействие. Ряд применений МЭМС представлен на Рисунке 2.

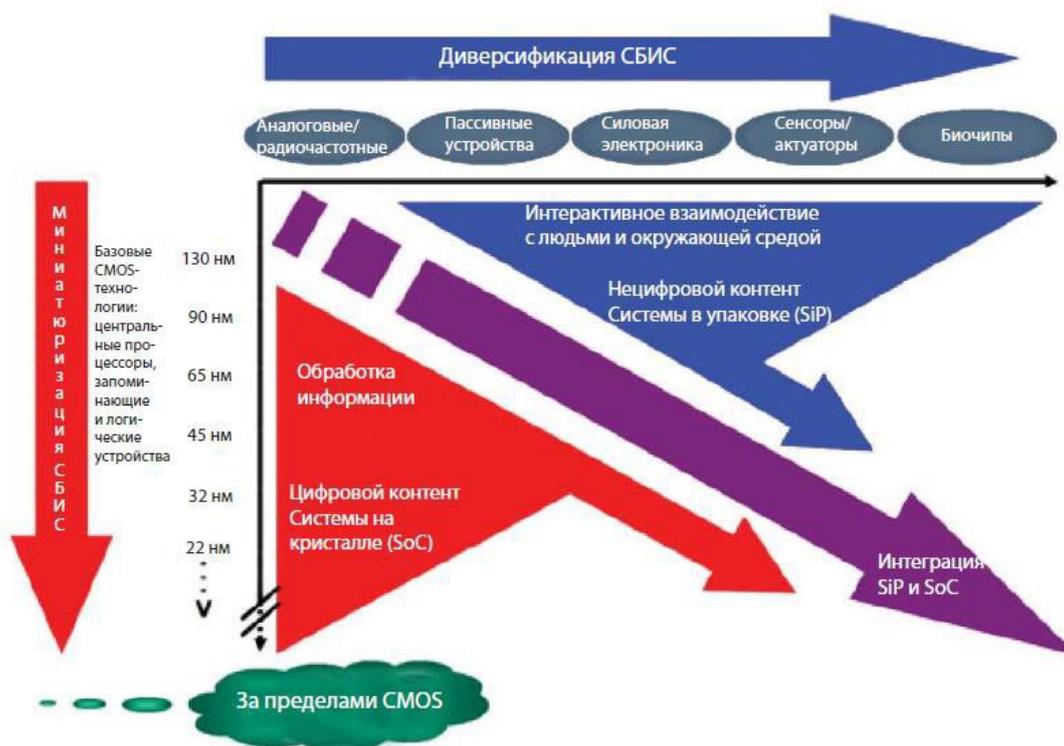


Рисунок 2. Области применений МЭМС

Выделим перспективное направление приборной реализации МЭМС-устройств.

1. Микрозеркала (Рисунок 3) компании Texas Instruments содержат систему подвижных зеркал (ширина $\approx 10\mu\text{м}$). Эти устройства позволяют осуществлять отражение или блокировку света и применяются в проекторах при графических презентациях.
2. Так называемые микрокапиллярные устройства реализуются в виде кремниевых чипов с микроскопическими каналами. Они используются в медицине, например, для доставки дозированных порций лекарств. Они также могут применяться в струйных приборах.

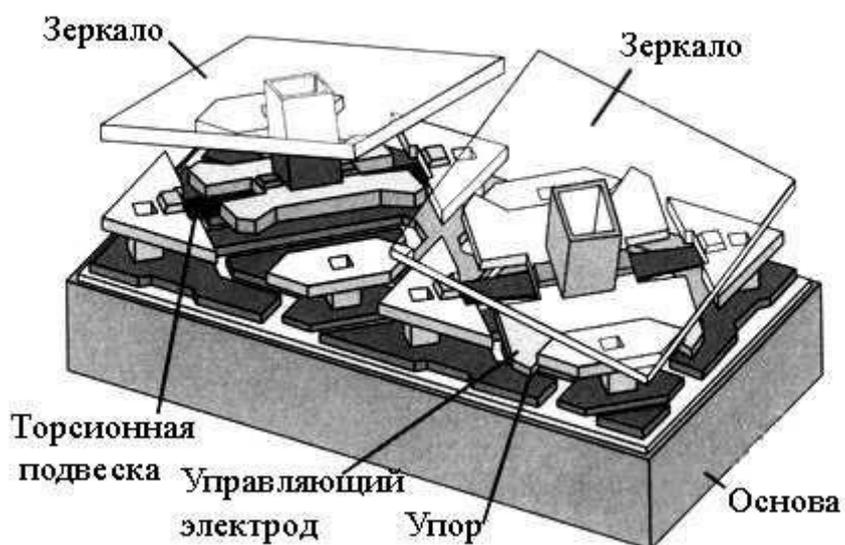


Рисунок 3. Устройства микрозеркал

3. Биомедицинские имплантаты. Например, кремниевые МЭМС для восстановления слуха, которые снабжены звуковым сенсором и микропроцессором для разложения звуковой волны на Фурье компоненты. Также планируется разработка МЭМС-устройств для восстановления зрения.
4. Микромеханические пинцеты ($\approx 10\mu\text{м}$) для медицинских целей.

Отдельная группа инерциальных ММД – это акселерометры (ММА) и гироскопы (ММГ). Перспективная разработка на основе МЭМС-устройств – миниатюрные ММА для контроля раскрытия подушек безопасности в автомобилях.

Фирма Analog Devices наладила выпуск ММД iMEMS (integrated Micro Electro Mechanical System) – это полностью интегрированные однокристалльные датчики ускорения (ММА).

ММГ техника используется в автомобильной промышленности для разработки, нового поколения навигационного оборудования, в робототехнических устройствах, для спортивного инвентаря, в медицинских приборах и в смартфонах. Фирма Analog Devices разработала интегральные гироскопы на базе технологий iMEMS. Это датчик угловой скорости с очень высокой точностью измерения.

Востребованность этой продукции на мировом рынке оценивается в миллиарды долларов от их продаж.

Контрольные вопросы к разделу 1.3

1. Как классифицируются МЭМС?
 - сенсоры, которые преобразуют физическое воздействие в электрический сигнал;
 - актюаторы, которые преобразуют сигнал в какое-либо воздействие;
 - и то, и другое в целом верно;
 - нет правильных групп классификации
2. Что такое микрозеркала в МЭМС-устройствах?
 - МЭМС-устройства на микрозеркалах содержат систему подвижных зеркал (ширина ≈ 10 мкм);
 - МЭМС-устройства на микрозеркалах позволяют осуществлять отражение или блокировку света;
 - МЭМС-устройства на микрозеркалах применяются проекторах при графических презентациях;
 - все вышеизложенное верно.
3. Что представляют собой микрокапиллярные устройства?
 - они представляют собой кремниевые чипы с микроскопическими каналами;
 - они позволяют дозировать порции лекарств в медицинских целях и порции красителя в струйных принтерах;
 - и то, и другое верно;
 - нет правильного ответа.
4. Для чего предназначены биомедицинские импланты слуха?
 - кремневые МЭМС для восстановления слуха снабжены звуковым сенсором и микропроцессором для разложения звуковой волны на Фурье компоненты;
 - для уменьшения посторонних шумов;
 - для снижения высокочастотной составляющей в звуковом спектре;
 - для устранения низкочастотных составляющих в звуковом спектре.
5. Что такое MMD iMEMS?
 - MMD - integrated Micro Electro Mechanical System;
 - это полностью интегрированный однокристалльные датчики ускорения (ММА);
 - и то, и другое верно;
 - нет правильного варианта.
6. Что такое ММГ iMEMS?
 - микрогироскопы на базе технологий iMEMS;
 - это интегральные гироскопы с очень высокой точностью измерения;
 - и то, и другое верно;
 - нет правильного варианта.

1.4. Перспективы развития технологии МСТ

Существуют типовые технологические методы изготовления МСТ, использующие перспективы разработки в различных отраслях фундаментальных наук. К таким методам относится полупроводниковая КМОП-технология, используемая при получении микромеханических устройств на кристалле кремния. Подложка при этом служит и контролирующим материалом для реализации механических деталей и микроструктур, и материалом для электронных схем. Однако для традиционных полупроводниковых структур задействуется в технологическом процессе только поверхностный слой, а в МЭМС требуется измерение 3D-структуры. Такие технологии позволяют уменьшить размеры за счет движения вглубь при размещении электронной базы. К таким технологическим отраслям технологии объема и поверхностной обработки относится и ряд других специализированных технологий, рассмотренных в данном учебном пособии.

Технологии травления по-прежнему являются широко используемым методом обработки кремния, например, изотропное и анизотропное, селективное, плазменное, реактивное, ионно-лучевое, лазерно-индуцированное травление. В основном используется для травления три состава: этилендиамин, пирокатехин (ЭДП) и вода; КОН и вода; HF, HNO₃ и уксусная кислота.

Травление может использоваться при изготовлении сопел струйного принтера, многопереходных солнечных элементов, имеющих V-образные канавки.

К методам анизотропного сухого объемного травления кремния относятся плазменные, а также реактивно-ионное травление, осуществляемые при низком давлении и подводе энергии. Сухое травление позволяет получить сложные геометрические микроструктуры и глубокие произвольно ориентированные структуры (например, технология RIE).

Жидкостной вид травления проводится с обратной стороны подложки, а плазменное - с передней. Технология SCREAM относится к вертикальным видам объемной микрообработки кремния с металлизацией и использует комбинацию анизотропного и изотропно-плазменного видов травления.

Технологии анизотропного травления используются при изготовлении прецизионных приборов в волоконно-оптических системах (волоконный фотодетектор, волоконная светопроводящая поверхность, полупроводниковый лазер и оптоволокно, лазер-линза- оптоволокно и другие). V-образные канавки в Si (100) позволяют укладывать в них оптоволокно при соединении с элементной базой микроструктур. Возможно интегрирование оптоволоконных матриц с фотодиодными и лазерными. Возможна регуляция глубины погружения оптоволоконна в кремний путем формирования стоп-слоя.

V-образные канавки можно применять как световодные структуры. Формирование тонких мембранных элементов на кремнии применяется при создании ПЗС-матриц, отличающихся высокой прочностью, долговечностью и устойчивостью к вибрациям и термоциклированию, а также при регулировании процессов и диагностике транспортных средств.

Для МСТ характерно наличие у механических частей подвижных элементов. Их изготавливают, не используя сборочных операций. Изготовление сложнопрофильных объемных деталей и приборов из пластмассового материала возможно при получении опытных образцов методом прототипирования и микростереолитографии.

Для производства гибко-жестких конструкций (с сосредоточенной или распределенной упругостью), а также с изменяющейся пространственной конфигурацией, в МСТ используются грунтовка, субтрактивные, аддитивные и комбинированные технологии, например, при производстве акселерометров, гироскопов и емкостных датчиков.

Для получения гибко-жестких элементов в МСТ применяют не только кремний, но и другие гибкие пленочные материалы. Например, при создании многозондовых контактирующих устройств контроля электрических параметров многослойных печатных плат, роль гибкой основы играет фольгированная алюминием пленка из полиамида. На пленке методом фотолитографии вплавлен рисунок проводников. Места расположения будущих зондируемых элементов (контактные площадки) никелируются. Шарики припоя образуют матрицу зондов. При создании давления, через специально сформированную воздушную подушку, происходит равномерное распределение силы, прижимающей усики зондов к конкретным площадкам.

Контрольные вопросы к разделу 1.4

1. Что представляет собой технология SCREAM?
 - она относится к вертикальным видам объемной микрообработки кремния;
 - она использует комбинацию анизотропного и изотропно-плазменного видов травления;
 - и то, и другое верно;
 - нет верного ответа.
2. Что достигается при применении технологии анизотропного травления при изготовлении прецизионных приборов в волоконно-оптических системах (волоконный фотодетектор, волоконная светопроводящая поверхность, полупроводниковый лазер и оптоволокно, лазер-линза-оптоволокно и др.)?
 - V-образные канавки в кремнии с ориентацией (100) (позволяют укладывать в них оптоволокно при соединении с элементной базой и микроструктур);
 - возможно интегрирование оптоволоконных матриц с фотодиодными и лазерными матрицами;
 - возможна регуляция глубины погружения оптоволоконна в кремний путем формирования стоп-слоя;
 - всё вышеизложенное верно.
3. Как можно применять изготовление сложно-профильных объемных деталей и приборов из пластмассовых материалов?
 - возможно применять при получении опытных образцов методом прототипирования;
 - методом микростереолитографии;
 - и так, и так;
 - нет верного варианта.
4. Какие технологии микросистемной техники используются для производства гибко-жестких конструкций (с сосредоточенной и распределенной упругостью), а также с изменяющейся пространственной конфигурацией?
 - групповые технологии;
 - субтрактивные и аддитивные технологии;
 - комбинированные технологии;
 - все перечисленные технологии могут быть использованы.
5. Чего позволяет достичь применение нанотехнологий в микросистемной технике на сегодняшний день?
 - нанотехнологии позволяют кардинально изменить материаловедение при получении материалов с наперед заданными уникальными свойствами, а также интеллектуальные материалы с широкой областью применения (например, градин, фуллерен, углеродные

нанотрубки, фотонные кристаллы, микропористая керамика и другие материалы);

- они проявляют свое воздействие в квантово-механическом пространстве, что реализуются в ряде принципов: туннельный эффект, волновая связь и передача, синергетическое изменение свойств наноструктур, зарядная и энергетическая дискретизация и др.
- и то, и другое верно;
- нет правильного ответа.

1.5. Тенденции развития и преимущества современных технологий изготовления МСТ

Технология МСТ синтезирует в себе прогрессивные достижения в таких областях знаний, как механика, электроника, информатика, измерительная техника и находит широкое применение в приборостроении. МСТ позволяет на одном чипе реализовать исполнительный механизм и систему его управления. МСТ отличаются малыми массогабаритными параметрами, высокой надёжностью и рентабельностью. К преимуществам МСТ также можно отнести минимизацию времени упаковки (калибровка и подгонка осуществляются на стадиях производства), простоту интеграции с вычислительной техникой, что даёт возможность автономного контроля работ МСТ и управления её микробиологическими характеристиками.

Для устройств МСТ характерным элементом, играющим одну из основных ролей в обеспечении параметров надёжности, является чувствительный элемент (ЧЭ). ЧЭ совместно с упругими и конструктивными компонентами и схемами для коррекции и согласования образует микроэлектронный датчик, который имеет ряд преимуществ перед датчиками, имеющими аналогичные функции:

1. Упругий элемент (УЭ) изготовлен из монокристаллического материала, обладающего, по сравнению с поликристаллическим материалом, лучшими свойствами подвижности и упругости таких УЭ.
2. Уменьшение массогабаритных параметров позволило снизить механическую инерционность и чувствительность к механическим перегрузкам, что, в свою очередь, улучшило частотные свойства датчиков.
3. Технология микроэлектроники даёт возможность сформировать на одном УЭ схему тензочувствительных резисторов, что приводит к увеличению чувствительности [26]. Групповые технологии и возможность автоматизации технологического процесса позволяют снизить стоимость при условии высокой надёжности.
4. Единство конструкции датчика удешевляет процесс компоновки и закрепления ЧЭ. Они формируются непосредственно на самой подложке.
5. Тензочувствительный элемент состоит из областей с различным типом проводимости и степенью легирования. Он формируется на УЭ датчике (кремниевой мембране). Это устраняет гистерезис выходного сигнала и повышает стабильность.
6. Технологические процессы литографии и анизотропного травления ведут к миниатюризации преобразователя.

Достоинства интегральных преобразователей, рассмотренные выше, помогают решить принципиально новые проблемы. В итоге технологии микроэлектроники позволяют получить на одном кристалле:

- системы преобразователей, равноудалённые друг от друга (важно для панорамной индукции, контроля и измерения) [16];

- системы однотипных преобразователей с разными параметрами (для расширения диапазона измерений) [26];
- несколько ЧЭ в целях резервирования, а также усреднения характеристик прибора;
- системы преобразователей разных видов для формирования представления сразу о ряде параметров (давлении, температуре и т. д.);
- преобразователь и управляющее устройство.

Присутствие вторичных преобразователей может способствовать повышению стабильности, устранению паразитных эффектов и т. д.

Однако существует и ряд недостатков устройств МСТ, связанных с использованием в качестве конструктивного и функционального материала Si, который по своим физико-химическим свойствам создаёт ряд сложностей при проектировании микроэлектронных датчиков [26]:

1. Недостаточная устойчивость к внешним воздействующим факторам: температура, радиация, деформация.
2. Параметры ЧЭ микроструктур имеют разброс из-за существенной зависимости от режимов технологического процесса изготовления, зависящих от многочисленных факторов.
3. Проблемы с физико-математическим моделированием микроэлектронных датчиков, связанные с квантовыми эффектами и трудностью формализации разнородных математических аппаратов (методов физики твёрдого тела, теории вероятности, тензорных моделей и методов моделирования физической химии) [34]. Трудности связаны и с моделированием процесса анизотропного травления кремния. Всё это осложняет точность расчётов параметров производимых датчиков.

Невзирая на огромную перспективность и потенциал МСТ, ряд технологий производства МСТ-устройств по-прежнему независимы (изолированы) друг от друга. Это не позволяет получить единого представления о технологических процессах и моделировании МСТ, а также приводит к отсутствию целостности проектирования и невозможности контроля, прогнозирования и оценки адекватности полученных математических моделей и решений на технологических этапах и взаимосвязи их со свойствами изготавливаемых микроэлектронных датчиков. Всё это ведёт к увеличению стоимости готовых изделий МСТ.

Всё вышеизложенное подтверждает необходимость разработки системного подхода к производству МСТ-устройств. Это позволит учитывать все аспекты технологии, что потребует создания целостного сквозного моделирования технологического процесса производства МСТ-устройств. Использование такого моделирования привело бы к повышению рентабельности этих датчиков. Это крайне сложная задача. Её решение может потребовать больших временных затрат и разбиения целостной сквозной модели на ряд подмножественных структур для решения локальных задач определённых технологических процессов, а далее

проведение синтеза полученных выходных данных для перехода к следующему этапу моделирования.

Трудность создания моделей ряда технологических процессов получения МСТ связана с их многофакторностью. Созданные в настоящее время модели имеют много допущений, что снижает адекватность конечной модели реальному технологическому процессу изготовления МСТ.

Многофакторность технологических процессов и трудности их моделирования, даже по локальным технологическим этапам, пока требует использования эмпирических данных. В дальнейшем, при получении целостной модели за счёт синтезирования всей цепочки данных от локальных процессов и использования вероятностных методов, возможно создание адекватного моделирования технологических процессов производства МСТ.

Дальнейший рост инвестиций в НИОКР, связанных с разработкой МСТ, и распространение выпуска МСТ в форме МЭМС, отвечающих современным потребностям мирового рынка и учитывающих современный спрос на МСТ, потребует движения в следующих направлениях:

- интеграция механических элементов и связей с электрическими и оптическими;
- интеграция интердисциплинарных областей науки (физико-химических и технологического базисов микро- и биотехнологий);
- интеграция технических, технологических и контрольно-диагностических процессов в микрообъемах и на поверхности полупроводниковых подложек;
- активная разработка методов, работающих с 3D-системами.

Контрольные вопросы к разделу 1.5

1. Особенности микросистемной техники:

- МСТ позволяет на одном чипе реализовать исполнительный механизм и систему его управления;
- устройства МСТ отличаются малыми массогабаритными параметрами, высокой надежностью и рентабельностью;
- МСТ устройства обеспечивают простую интеграцию с вычислительной техникой, это позволяет автономно контролировать работу МСТ и управлять её метрологическими характеристиками;
- все перечисленные особенности МСТ имеют место.

2. Что является характерным элементом для устройств МСТ, играющим одну из основных ролей в обеспечении параметров надёжности?

- чувствительный элемент;
- корпус МСТ;
- схемы для согласования и коррекции;
- тензочувствительный элемент.

3. Что позволяют получить технологии микроэлектроники на одном кристалле?

- системы преобразователей, равноудалённых друг от друга (это важно для панорамной индикации, контроля и измерения);
- системы однотипных преобразователей с разными параметрами (для расширения диапазона измерений);
- несколько чувствительных элементов в целях резервирования, а также усреднения характеристик приборов;
- все вышеперечисленное верно.

4. Какие преобразователи и их системы можно реализовать на одном кристалле с использованием технологии микроэлектроники?

- системы преобразователей разных видов для формирования представления сразу о ряде параметров (давления, температуры и т.д.);
- преобразователь и управляющие устройство;
- присутствие вторичных преобразователей, что может способствовать повышению стабильности, устранению паразитных эффектов и т.д.
- все вышеизложенное верно.

5. Каковы недостатки кремния как конструктивного материала в МСТ

- недостаточная устойчивость к таким внешним факторам, как температура, радиация, деформация;
- параметры чувствительных элементов микроструктур имеют разброс из-за большой зависимости от режимов технологического процесса изготовления;
- проблемы с физико-математическим моделированием МЭМС, связанные с квантовыми эффектами и трудностью формализации разнородных математических аппаратов (всё это осложняет точность расчётов параметров структур);

- все вышеперечисленное имеет место быть.
- 6. Какие виды интеграции будут иметь место в МСТ в ближайшем будущем?
- интеграции механических элементов и связей с электрической и оптической элементной базой;
- интеграции интердисциплинарных областей науки;
- интеграции технологических, технических и контрольно-диагностических процессов в микрообъемах и на поверхности полупроводниковых подложек;
- все эти виды интеграций актуальны для МСТ.

Выводы к разделу 1.

МСТ в России и за рубежом достигло высокого уровня развития:

- разработаны пакеты прикладных программ для САПР и моделирования разнообразных МЭМС датчиков (SPiCE, CoventorWare, Tanner Pro);
- усовершенствована технология изготовления МЭМС устройств как объектов с 3D структурой (объемная поверхностная микрообработка и другие виды технологий);
- созданы технологии корпусирования микроструктур, использующие сращивание элементов на атомно-молекулярном уровне;
- подтверждена технико-экологическая эффективность при массовом изготовлении изделий МСТ;
- разработаны разнообразные виды МЭМС сенсоров;
- для производства МСТ, в частности МЭМС, создано специализированное технологическое оборудование;
- датчики МЭМС напрямую связаны с военной техникой и микроробототехникой;
- созданы микроманипуляторы в качестве инструментария в исследовании микро- и наноструктур.

В МСТ на сегодняшний день глобальным направлением дальнейшего развития являются нанотехнологии:

- они позволяют кардинально изменить материаловедение при получении материалов с наперед заданными уникальными свойствами, а также интеллектуальные материалы с широкой областью применения (например, графен, фуллерен, углеродные нанотрубки, фотонные кристаллы, микропористая керамика и другие);
- они проявляют свое воздействие в квантомеханическом пространстве, что проявляется в ряде принципов: туннельный эффект, волновая связь и передача, синергетическое изменение свойств наноструктур, зарядная и энергетическая дискретизация и другие.

В дальнейшем прогресс в области развития технологий МСТ раскрывает широкие перспективы, которые базируются на создании и применении новых поколений химических и биологических сенсоров, снабженных мономолекулярными покрытиями. Кроме того, необходимо отметить создание электронных наноразмерных компонентов, например, переключателей; миниатюрных нанороботов; медицинских систем ввода лекарств и зондов; воспроизведение утраченных органов; создание интеллектуальных нано-материалов, улучшающих механические характеристики; снижение веса деталей путем укрепления наноконструкциями полимерной основы изделия.

РАЗДЕЛ 2. СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРОБЛЕМЫ И ТЕНДЕНЦИИ ИНТЕГРИРОВАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МСТ

2.1. Теоретические основы интегрированных технологий в микросистемной технике

Концепция интегрированных автоматизированных технологий и производств в разных научных источниках трактуется с использованием разных понятий, принимаемых за базовые при рассмотрении моделей. Так, можно выделить следующие понятия:

- интегрированные автоматизированные системы (ИАС), являющиеся средой для интеграции всех технологических процессов на производстве и реализующие механизмы обмена информацией;
- единое информационное пространство (ЕИП), аккумулирующее информацию об изделиях на каждом этапе жизненного цикла (ЖЦ) в единой системе, для организации доступа к данным, как механизму, влияющему на ЖЦ изделий.

ИАС обеспечивают надежное управление и позволяют минимизировать затраты содержания. Концепция позволяет интегрировать автоматизированные комплексы для реализации технологических процессов. Иначе говоря, решить задачу «под ключ»: от технического задания на проект до стадии выпуска готовой продукции [4].

Интегрированные автоматизированные системы управления (АСУ) можно рассматривать как системы, для создания которых применим принцип нисходящего проектирования системы. При таком принципе проектирования отдельных компонентов системы проектирование выполняется на основе взаимосвязанных функций. Интегрированные АСУ (ИАСУ) характеризуются также методикой проектирования, которая позволяет осуществить согласованное достижение поставленных целей, в случае, когда они не могут быть реализованы при локальном применении отдельных видов АСУ [5].

ИАСУ позволяют координировать процесс исследования производства. Они обеспечивают перспективное планирование и адаптацию системы за счет смены состава и взаимосвязей задач, а также характера процесса взаимодействия между отдельными компонентами [12].

Существуют различные концепции ИАСУ. Нужно учитывать интеграцию неавтоматизированных и автоматизированных компонентов систем управления, отдельных фаз этих циклов управления, систем автоматизированной обработки данных, и данные которые необходимы для принятия решений. Для решения проблемы выбора преимущественных направлений АСУ необходимо учитывать оценку функциональных структур ИАСУ, также важен учет затрат на обеспечение их взаимодействия и совместимости [26].

Необходимо учитывать согласование накопленных данных о ходе конкретных техпроцессов [11].

Главная задача ИАСУ состоит в согласовании решений. При разработке ИАСУ для исследования объекта формируются связанные задачи с определением структуры производственных связей и производительностью отдельных участков. Не менее важны задачи, связанные с определением затрат и качественных характеристик продукции. Необходимо заниматься и задачами расхода материалов и инструментов.

Ряд АСУ используют локальные решения.

В отличие от локальных решений, ИАСУ предусматривает:

- использование системного анализа;
- формирование комплекса задач;
- применение математических моделей к объекту управления.

Для определения характеристик объекта управления, а также его связей с внешней средой необходимо решать задачи для многомерных статистических данных. Анализ таких данных позволяет учесть вероятность изменения как самих задач, так и состояния внешней среды.

Если АСУ создают на новом предприятии, и вероятностные характеристики этого предприятия и внешней среды не представляется возможным установить, то за исходные характеристики, а также производственные ситуации, принимают те характеристики и ситуации, которые получены на основе анализа аналогичных предприятий. Например, можно применить метод экспертных оценок. Внешняя среда определяет ряд критериев, по которым осуществляется оценка функционирования предприятия.

Смена приоритетов допустима, когда величина максимальной или минимальной целевой функции имеет значение, которое определено ранее в качестве установленного уровня.

При разработке АСУ для всех производственных ситуаций выявляется структура производственных связей. Эта структура, которая определяет возможность декомпозиции общей цели на множество подцелей, создающих дерево целей для каждого отдельного участка производства [23, 24].

Дерево целей представляет собой граф, который отображает связь и соподчиненность целей. Вертикальными уровнями этого графа являются соподчиненные цели. Функция управления, которая должна обеспечивать достижение этих целей, представляется горизонтальными уровнями.

Используя дерево целей, осуществляют декомпозицию общих критериев оценки каждого функционала производственного процесса. Это позволяет выбрать определенные критерии для конкретной подцели. Далее формулируется задача управления.

Сформулированная совокупность локальных критериев полностью соответствует общим критериям. Весовые коэффициенты для локальных

критериев зависят от характеристик звеньев производственной структуры. Приоритеты могут также изменяться.

Применяемые модели в задачах согласованного управления учитывают ограничения на производительность. На показатели, входящие в критерии, оказывают влияния усредненные соотношения между переменными, что вызывает снижение точности и адекватности математической модели реальным параметрам объекта.

Принцип управления по средним характеристикам называется объемным календарным планированием производства. Выбор числа ступеней разделения задач управления интегрированных АСУ определяется:

- вычислительными возможностями технического обеспечения,
- сложностью решения самих задач управления,
- вероятностными характеристиками, воздействующими на производственный процесс,
- возмущениями, приводящими к отклонению реального хода производственного процесса от запланированного.

Риск отклонения параметров объекта от оптимальных величин при функционировании будет тем выше, чем более укрупнена модель при решении задачи управления. Снижение риска может быть достигнуто за счет детализации моделей, а также уточнения характеристик их параметров при анализе отклонений от плановых значений в ходе функционирования объекта [24].

Выбор числа уровней детализации моделей требует проанализировать причины расхождения плана и реального хода производства:

- выбрать комплексные характеристики;
- разработать вероятностную модель для оценки неупорядоченности производства;
- определить временные интервалы планирования и управления для заданной степени укрупнения моделей.

При определении числа уровней модели необходимо учесть, что число уровней детализации зависит от выбранной сложности и общей задачи управления.

2.1.1. Многоуровневая адаптация в интегрированных АСУ

Точность процедуры формализованного описания поведения объекта определяет эффективность сформированного решения. Возможность непрерывного совершенствования ранее принятых решений зависит от методологии системного анализа. Это реализуется путем адаптации исходной модели к реальным условиям функционирования объекта [9].

Такой подход позволяет реализовать многослойная концепция процесса адаптации при управлении производством.

При создании интегрированной системы управления выделяют четыре уровня.

Первый уровень реализует непосредственно взаимодействие с объектом в реальном масштабе времени для производственного процесса.

Второй уровень задает цель и определяет задания, подлежащие реализации на первом уровне.

Третий уровень нужен для адаптации алгоритмов, применяемых на предыдущем уровне. Эта адаптация может проводиться с помощью корректировки значений соответствующих характеристик, применяемых алгоритмов или характеристик текущего контроля событий. Он также может определять ограничения для задач оптимизации предыдущего уровня. Этот уровень позволяет учесть опыт работы на протяжении определенных временных промежутков.

Четвертый уровень нужен для выбора структуры алгоритмов, относящихся к нижестоящим уровням иерархии. Этот этап задает третьему уровню режимы функционирования, путем управления процессом решения задач.

На последних двух уровнях применяются качественные оценки. Между уровнями через общую базу данных (БД) реализуется процесс информационного обмена (вверх по иерархии). Принятие решений и оценка осуществляются вниз через БД, которая является средством информационной интеграции уровней адаптации.

2.1.2 Единое информационное пространство

Единое информационное пространство (ЕИП) – это совокупность информационных средств и ресурсов, которые объединены в единую систему. К разряду информационных ресурсов можно отнести автономные информационные вычислительные службы, БД, файлы данных и компоненты информационных систем. Информационные средства представляют собой совокупность операторов, программных средств, транспортных ресурсов, вычислительных ресурсов.

ЕИП использует понятие интегрированной модели. Эта иерархическая модель содержит всю информацию об изделии, которая может быть востребована на каждом этапе его ЖЦ. При создании интегрированной модели применяют CALS/ИПИ-технологии. С помощью CALS/ИПИ-технологии решается ряд задач [23]:

- структурирование и моделирование данных об изделиях и технологических процессах;
- реализация процесса эффективного управления и обмена данными между всеми звеньями ЖЦ изделия;
- создание и сопровождение документации, необходимой для поддержки этапов ЖЦ изделий.

Единое пространство обладает рядом преимуществ:

- реализует независимую работу специалистов разных профилей;
- обеспечивает целостность данных;

- гарантирует доступ с любого рабочего места к БД удаленных звеньев ЖЦ изделия;
- устраняет потери данных при переходе от одного этапа ЖЦ изделия к другому;
- предоставляет возможность изменения данных одновременно по звеньям ЖЦ изделия;
- позволяет преодолеть информационные барьеры, что способствует повышению эффективности, снижению материальных и временных затрат [28].

Стратегия CALS/ИПИИ-технологии содержит два этапа перехода к ЕИП:

- автоматизация отдельных этапов ЖЦ изделия и формирование в соответствии с требованиями ЕИП данных в электронном виде. Информация формируется отдельными файлами.
- интеграция в рамках ЕИП всех автоматизированных процессов и данных в электронном виде. На этом этапе взаимодействие подсистем реализуется за счёт программных средств в реальном масштабе времени при параллельной работе исполнителей через единую сеть посредством стандартных протоколов.

Два основных компонента CALS/ИПИИ-систем:

- системы автоматизированного проектирования (САПР), например, CAD/CAM системы;
- АСУ производством вне зависимости от места и времени их поступления в общую систему.

CALS/ИПИИ-технологии позволяют обеспечить комплексное использование информативной базы стандартизации и сертификации, а также каталогизацию продукции.

Эти технологии снижают затраты и увеличивают эффективность и качество всех этапов ЖЦ.

Применение CALS/ИПИИ-технологии не исключает использование существующих САПР и систем управления. Интеграция автоматизированных систем при производстве современной МСТ базируется на CALS/ИПИИ-технологии, основанной на существующих технологиях и стандартах.

Существует два типа CALS/ИПИИ систем, предназначенных для реального и виртуального предприятия.

Первые формируют интегрированную систему управления процессом создания и использования конструкторско-технологической и производственной информации для всех изделий и обеспечивают интеграцию со многими информационными системами.

Вторые позволяют обеспечить интеграцию и управление всеми информационными процессами, которые связаны с решением задач корпоративного, отраслевого, а также межотраслевого и межгосударственного сотрудничества. Примером могут служить средства

категории Product Life Management (PLM), а также различные системы, используемые при совместных проектах, направленных на разработку и создание изделия [24].

Если имеются стандартные интерфейсы данных, используют существующие программные средства САПР и АСУ для автоматизации ЖЦ. Для интеграции всех данных о датчиках в рамках ЕИП используют специализированные программные средства - Product Data Management (PDM). Задача PDM-систем состоит в аккумулировании всей информации об изделии (датчике МЭМС, МСТ) в единую логическую модель [27].

Процесс взаимодействия PDM-систем с прикладными системами базируется на стандартных интерфейсах. Следовательно, прежде всего, при разработке МСТ необходимо осуществить подготовку элементной базы МСТ к ситуации объединения и интеграции с учетом вышеприведенных принципов ЕИП [24].

Контрольные вопросы к разделу 2.1

1. Что должны учитывать и отражать применяемые модели при выборе задач согласованного управления:
 - отражать усредненные соотношения между переменными, влияющими на показатели, входящие в критерий;
 - должны учитывать ограничения по производительности;
 - и то, и другое;
 - нет верного ответа.
2. Можно ли использовать модель усредненных соотношений переменных при определении нормативных показателей производительности?
 - нет, это снижает её точность;
 - да;
 - не уверен;
 - можно при определённых условиях.
3. Где можно использовать управление по средним характеристикам при планировании производства в масштабе группы цехов?
 - при кустарном производстве;
 - в объёмном календарном планировании, устанавливающим объём производства по календарным срокам;
 - в частном секторе;
 - при серийном производстве.
4. Чем определяется число ступеней разбиения задач управления ИАСУ?
 - сложностью решения задач управления и вероятностными характеристиками действующих на производственный процесс возмущений, вызывающих отклонение реального хода производства от запланированного;
 - вычислительными особенностями технического обеспечения;
 - и тем, и другим;
 - временными ограничениями.
5. Чем может быть достигнуто уменьшение риска при решении задач управления?
 - уточнением их параметров на основании анализа отклонений от плана в процессе функционирования объекта;
 - детализацией моделей;
 - увеличением времени решения задач;
 - первое и второе верно.
6. Что необходимо сделать при выборе числа уровней детализации моделей при согласованном управлении?
 - построить вероятностную модель неупорядоченности производственного процесса как функции от характеристики организационных и технологических трудностей для различных производственных ситуаций

и определить интервалы времени планирования и управления при данной степени укрупнения моделей, обеспечивающие задание значений характеристик выполнения плана;

- использовать данные статистического анализа причин расхождения и выявить комплексные характеристики, оценивающие организационные и технологические трудности;
- и то, и другое последовательно;
- нет верного ответа.

7. Каким может быть число уровней детализации с последовательным уточнением управления?

- строго фиксированным;
- решает руководство предприятия;
- различным в зависимости от сложности общей задачи;
- не более пяти.

8. Что является основой получения эффективного решения интегрированной АСУ?

- наличие материальных ресурсов;
- возможно более точное формализованное описание поведения системы;
- наличие требуемого кадрового состава;
- грамотное руководство.

9. Что должна предусматривать методология системного анализа?

- вложение новых материальных средств;
- непрерывное улучшение ранее принятых решений за счёт адаптации исходной модели к условиям функционирования (концепция адаптации управления производством);
- реорганизацию всего производства;
- правильного ответа нет.

10. Из каких этапов может состоять методология системного анализа для интегрированной АСУ?

- подготовки рекомендаций о месте, времени и форме управления, его вероятных последствиях на выходе объекта;
- накопления информации о текущем состоянии выхода для оценки рассогласования;
- из тех и других этапов;
- нет верного ответа.

11. Сколько уровней выделяется в интегрированной АСУ?

- пять;
- четыре;
- два;
- тридцать-сорок.

12. Для чего предназначен первый уровень в интегрированной АСУ?

- задачи оптимального управления;

- для взаимодействия с объектом непосредственно в реальном режиме времени (в задачу текущего контроля событий входит обнаружение событий, влияющих на решение по управлению);
- определение различных структур дерева целей;
- верно, второе и третье.

13. Для чего предназначен второй уровень интегрированной АСУ?

- реализует цель и стратегию второго уровня;
- для установления цели и задания, подлежащих реализации на первом уровне (определяет остановки для управляющих устройств первого уровня, которые реализуются через заранее определённую последовательность действий);
- задаёт режим функционирования путём управления процессом решения задач;
- нет верного ответа.

14. Для чего предназначен третий уровень интегрированной АСУ?

- определяет остановки для управляющих устройств первого уровня, которые реализуются через заранее определённую последовательность действий;
- он выполняет функцию адаптации алгоритмов, используемых на первом и втором уровнях (основное отличие третьего уровня - учёт опыта работы в течение некоторого периода времени);
- задаёт режим функционирования путём управления процессом решения задач;
- нет верного ответа.

15. Для чего предназначен последний, четвертый уровень интегрированной АСУ?

- он задаёт третьему уровню режим функционирования путём управления процессом решения задач;
- он задает первому и второму уровням режим функционирования;
- для учёта опыта работы в течение некоторого периода времени;
- для определения остановки для управляющих устройств предыдущего уровня.

16. За счёт чего могут решаться задачи третьего и четвертого уровней интегрированных АСУ производственным и управленческим персоналом?

- на основе качественных оценок;
- на основе экспертных оценок;
- на основе учёта рисков;
- на основе пересмотра зарплаты.

17. Как направлен информационный обмен между четырьмя уровнями интегрированных АСУ?

- идёт вниз через базу данных;
- идёт вверх по иерархии через общую базу данных;
- горизонтально от одного схожего звена к другому;

- его ход заранее не предсказуем.

18. Для чего служит общая база данных при интегрированной АСУ?

- она является средством информационной интеграции уровней адаптации;
- хранилище необходимых данных;
- для накопления денежных средств;
- для передачи информации.

19. Что включает структура интегрированной АСУ отраслью?

- организационно-экономические АСУ;
- связи между организационно-экономическими АСУ;
- и то, и другое;
- верного ответа нет.

20. Дайте определение единого информационного пространства (ЕИП).

- совокупность информационных средств и ресурсов, объединяемых в единую систему;
- совокупность организационно-экономических средств и ресурсов;
- совокупность неких пространств по информационным потокам;
- правильного ответа нет.

21. Дайте определение информационных ресурсов интегрированных АСУ.

- программно-аппаратные средства;
- автономные информационные вычислительные службы, включающие в себя программные компоненты, базы данных, файлы данных и компоненты существующих информационных систем;
- математический аппарат;
- обслуживающий персонал.

22. Что относится к информационным средствам интегрированной АСУ?

- совокупность материальных и кадровых ресурсов;
- системно организованная совокупность аппаратных, программных и транспортных средств и вычислительных ресурсов, включая организационную, методическую и правовую формы обучения;
- совокупность организационно-методических норм и документов;
- материальные ресурсы.

23. Что такое интегрированная модель в интегрированной АСУ?

- физическая модель АСУ;
- иерархическая организационная модель, содержащая всю информацию об изделии, требуемую на любом из этапов жизненного цикла изделия;
- математическая модель, построенная на интегральных уравнениях;
- внедренная в производственный цикл определённая методика.

24. Что используют при построении каждого фрагмента интегрированной модели?

- различные методы построения;
- единые средства и методы построения;

- индивидуальные для каждого фрагмента средства и методы построения;
- индивидуальные средства, но общие методы построения.

25. Что используется для формирования интегрированной модели?

- CALS/ИПИ – технологии;
- Google;
- Windows;
- Word.

26. Основные задачи CALS/ИПИ технологии?

- структурирование и моделирование данных об изделиях и процессах, а также обеспечение эффективного управления и обмена данными между всеми участками жизненного цикла изделия;
- создание и сопровождение документации, необходимой для поддержки всех этапов жизненного цикла изделия;
- и то, и другое;
- нет верного ответа.

27. Что можно отнести к достоинствам использования единого информационного пространства (ЕИП)?

- отсутствие потерь данных при переходе между этапами жизненного цикла изделия;
- независимость работы специалистов различных профилей, обеспечение целостности данных;
- возможность организации доступа с любого рабочего места к данным географически удалённых участков жизненного цикла изделия; изменения данных доступны одновременно всем участникам жизненного цикла; преодоление информационных барьеров и недоступности к данным;
- все варианты верны.

28. Сколько этапов предусматривает стратегия CALS/ИПИ при переходе к ЕИП?

- шесть;
- два;
- пять;
- восемь.

29. Что представляет собой первый этап стратегии CALS/ИПИ при переходе к Единому информационному пространству (ЕИП)?

- интеграцию в рамках ЕИП автоматизированных процессов и относящихся к ним данных, представленных в электронном виде;
- автоматизацию отдельных процессов жизненного цикла изделия и представление относящихся к ним данных в электронном виде (в соответствии с требованиями ЕИП);
- и то, и другое;
- нет верного ответа.

30. Что представляет собой второй этап стратегии CALS/ИПИ при переходе к Единому информационному пространству?

- автоматизацию отдельных процессов жизненного цикла изделия;

- представление относящихся к жизненному циклу изделия данных в электронном виде;
- интеграцию в рамках ЕИП автоматизированных процессов и относящихся к ним данных, представленных в электронном виде;
- верно первое и второе.

31. Чем являются CALS/ИПИ-технологии?

- средством обеспечения эффективного взаимодействия только для вновь разрабатываемых АСУ;
- средством, обеспечивающим эффективное взаимодействие как новых, так и существующих автоматизированных систем проектирования и управления;
- средством обеспечения эффективного взаимодействия только для уже существующих автоматизированных систем;
- ни тем, ни другим.

32. Сколько видов CALS/ИПИ систем различают?

- пять;
- два;
- четыре;
- восемь.

33. Что обеспечивает CALS/ИПИ-система виртуального предприятия?

- интеграцию информационных процессов;
- интеграцию и управление информационными процессами при решении задач корпоративного, отраслевого, межотраслевого и межгосударственного сотрудничества;
- управление информационными процессами;
- виртуальную информацию для управления процессами.

34. К каким средствам относятся CALS/ИПИ системы виртуального предприятия?

- системы для проектов совместной разработки;
- средства категории PLM (Product Life Management - управление жизненным циклом изделия);
- системы для проектов совместного создания изделия;
- и то, и другое, и третье верно.

35. Какие средства используются при автоматизации отдельных процессов жизненного цикла изделия?

- специализированные программные средства;
- существующие прикладные программные средства (САПР, АСУП и т.п.) при условии наличия стандартного интерфейса к представляемым им данным;
- только средства MathLab;
- только средства Windows.

36. Какие средства используются при интеграции всех данных об изделии в рамках ЕИП?

- только существующие прикладные программные средства;

- специализированные программные средства (системы управления данными об изделии PDM - Product Data Management);
- только средства MathLab;
- только средства Windows.

2.2. Тенденции и перспективы развития интегрированных технологий

Ведущей тенденцией развития при создании интегрированных автоматизированных производств является разработка производственно-технологических систем, которые характеризуются высоким уровнем эксплуатационных качеств, гибкостью и безопасностью.

Задачи, решение которых актуально для таких технологических систем, можно разделить на три блока:

- первый блок задач - создание принципов и систем многоуровневого управления;
- второй блок задач - разработка новых методов и средств измерения и контроля;
- третий блок задач - разработка компьютерных систем.

Создаваемые в настоящее время АСУ ТП, гибкие производственные системы – АСУ ГПС, АСУП, автоматизированные системы научных исследований (АСНИ), САПР – это все подсистемы интегрированной АСУ, распределенные в соответствии с решаемыми задачами по уровням [5].

Анализ тенденций развития этих подсистем выявил следующие перспективные процессы разработки функциональной части АСУ:

- увеличение количества компонентов систем за счет вычленения различных подсистем в самостоятельные автоматизированные системы;
- охват АСУ всех ЖЦ изделий МСТ;
- охват АСУ всех иерархических уровней управления;
- онлайн и диалоговый режимы при решении задач управления;
- интеграция функций управления по всем элементам жизненного цикла изделий МСТ.

На современном этапе интегрирования АСУ характеризуется:

- открытостью и адаптивностью при изменении состава функций;
- хорошей приспособляемостью к изменениям параметров элементной базы МСТ;
- функциональной полнотой (от технической подготовки производства МСТ до готовой продукции);
- использованием большого количества алгоритмов и методов управления;
- высокой реактивностью на поступающие запросы;
- малым временем задержки в процессе обработки данных;
- возможностью интерактивного режима работы;
- использованием средств искусственных нейронных сетей и экспертных систем оценки при принятии управленческих решений;
- использованием сетевых методов для коммуникации разнородной вычислительной техники, оборудования и контроллеров;
- децентрализацией исполняемых функций по ряду признаков (функциональному, организационному и территориальному) [12].

Контрольные вопросы к разделу 2.2

1. Что является основной тенденцией развития в области интегрированных автоматизированных технологий и производств?

- создание производственно-технологических систем, отличающихся гибкостью, безопасностью и высокими эксплуатационными качествами;
- создание технологических комплексов, обеспечивающих жизненный цикл изделия;
- создание материально-технической базы ИАСУ;
- создание импортозамещающих технологий производства изделий.

2. Что актуально для производственно-технологических систем при создании ИАСУ?

- создание современных методов и средств измерения, контроля состояния технологических процессов и исполнительных механизмов;
- разработка принципов и систем многоуровневого управления;
- создание компьютерных сетей;
- и первое, и второе, и третье.

3. Какой аббревиатуры не существует для интегрированных АСУ?

- АСУГПС, АСНИ;
- АСУТП, АСУП;
- АСУМ;
- САПР.

4. Как распределены интегрированные автоматизированные системы управления?

- по стадиям;
- по этапам;
- по классам;
- по уровням.

5. Какие процессы наблюдаются в настоящее время в производственных АСУ?

- охват автоматизацией различных иерархических уровней управления; интеграция функций управления;
- расширение числа компонент системы путём выделения различных подсистем в качестве самостоятельных автоматизированных систем; охват автоматизированным управлением всех фаз жизненного цикла изделий;
- использование методов оптимизации и адаптации ИАСУ, а также диалогового режима для непосредственного участия человека в процессе решения задач управления и корректировки полученных результатов;
- и первые, и вторые, и третьи процессы актуальны и перспективны как тенденции развития ИАСУ.

6. Что относится к отличительным особенностям ИАСУ?

- возможность разработки системы по частям;

- возможность внедрения системы по частям с последующим её развитием и наращиванием;
- модульная структура;
- и первое, и второе, и третье.

7. Чем на современном этапе характеризуется ИАСУ?

- представление в распоряжение пользователей персональных средств; возможность общения пользователя с системой в активном режиме; использование средств искусственного интеллекта и экспертных систем для управленческих решений;
- высокая скорость реакции на запрос, очень малые задержки в обработке данных; децентрализация функций по функциональному, организационному и территориальному признакам; широкое применение средств управления распределенными данными и их обработка; использование сетевых методов организации коммуникации разнородного оборудования на базе сетевых протоколов;
- функциональная полнота, обеспечивающая автоматизацию всех видов деятельности; открытость и адаптивность; применение большого числа вариантов алгоритмов и методов управления; применение средств регулярного обучения пользователей;
- все варианты верны.

8. Концепция интегрированных технологий с точки зрения различных понятий моделей - это:

- интегрированные автоматизированные системы (ИАС) – это среда интеграции всех процессов на производстве, в которой реализованы механизмы обмена производственной информацией;
- единое информационное пространство (ИЕП) аккумулирует информацию об изделии на любом из жизненных этапов цикла в единой системе при организации доступа к данным как механизму влияния на жизненный цикл изделия;
- оба понятия применимы к концепции интегрированных технологий;
- нет верного ответа.

9. Что включает концепция интегрированных автоматизированных систем (ИАС) управления производством?

- надежное управление и минимальные затраты;
- современные технологии внедрения эффективных систем автоматизации и надежное управление;
- и то, и другое;
- нет верного ответа.

10. Определите сущность новой концепции интегрированных автоматизированных систем (ИАС).

- она ведет к повышению производительности отдельных стадий производства;
- она позволяет интегрировать, т. е. объединять в единую производственную систему составные автономные автоматизированные

комплексы для технологических процессов, охватывающие все основные стадии и этапы производства микроструктуры изделия;

- она удешевляет отдельные этапы технологического процесса;
- она ведет к интенсификации ИАС.

11. Что представляют собой интегрированные автоматизированные системы управления (ИАСУ)?

- методы повышения качества продукции;
- системы, при создании которых реализован принцип нисходящего проектирования систем, выполняющих взаимосвязанные функции компонентов;
- интегрированные технологии производства;
- нет правильного ответа.

12. Укажите особенность интегрированных систем АСУ.

- локальное применение отдельных видов АСУ и глобальное увеличение эффективности;
- методика построения, обеспечивающая согласованное достижение целей, каждая из которых не может быть достигнута за счет локального использования отдельных видов АСУ;
- локальное применение отдельных видов АСУ и локальное повышение эффективности отдельных этапов;
- ставка делается только на рентабельность.

13. За счет чего обеспечивается согласованное решение задач в АСУ?

- за счет разделения общей задачи управления по фазам планирования, регулирования, учета, анализа;
- за счет учета временной и уровневой иерархии, а также за счет временной иерархии задач внутри каждой фазы;
- и то, и другое;
- нет верного ответа.

14. На основании чего осуществляется выбор преимущественного направления интеграции АСУ?

- на основе оценки функциональной структуры ИАСУ, эффекта, получаемого в результате совместного функционирования локальных АСУ;
- на основе совместных затрат на обеспечение совместимости локальных АСУ и их взаимодействия;
- с учетом первого и второго;
- нет верного ответа.

15. К чему предъявляются требования в процессе автоматизированного управления интеграционными технологиями?

- к программным средствам интеграции, обеспечивающим решение комплекса задач в соответствии с заданным временным регламентом и иерархией взаимосвязей;

- к средствам анализа накопленных данных о ходе техпроцесса и производства;
- к тому и другому;
- нет верного ответа.

16. С чем связан переход к интеграции автоматизированных систем?

- с системным анализом объекта и задачами управления;
- с постановкой и формированием комплекса задач управления как задач оптимизации по общему критерию эффективности функционирования;
- с использованием экономико-математических моделей объекта управления для объединения частных задач управления с прогнозом возможных состояний и выбором оптимального управления;
- и с тем, и с другим, и с третьим.

17. С чем связано знание характеристик объекта управления и его связей с внешней средой?

- с получением многомерных статистических данных, анализ которых позволяет учесть вероятности изменений заданий;
- с получением данных, анализ которых позволяет учесть вероятность изменения состояний внешней среды;
- позволяет учесть вероятность изменений данных и разброс характеристик объектов при решении задач управления;
- и с тем, и с другим, и с третьим.

18. Что дает возможность выделения областей с часто повторяющимися производственными ситуациями в АСУ?

- позволяет заранее выбрать для них стратегию управления;
- позволяет сократить время производственного процесса;
- позволяет повысить рентабельность выделенной области производства;
- позволяет повысить качество продукции.

19. Что является исходными данными при разработке АСУ для нового предприятия?

- характеристики и производственные ситуации, полученные на основании анализа аналогичных действующих предприятий (метод экспертных оценок);
- данные, взятые у других любых производств;
- данные, полученные за последний месяц работы предприятия;
- распоряжения вышестоящих инстанций.

20. Что делать, если внешняя среда задает не один, а несколько критериев оценки функционирования предприятия, некоторые из которых могут быть несоизмеримы?

- решать задачу упорядочения критериев путем их ранжирования;
- задавать приоритеты и рассчитывать весовые коэффициенты;
- и то, и другое;
- нет верного ответа.

21. С использованием каких методов можно выбрать приоритеты?

- с использованием методов теории принятия решений;

- с использованием метода конечных элементов;
- с использованием методов теории вероятности;
- с использованием методов статистики.

22. Как называется структура производственных связей?

- дерево целей;
- куст целей;
- цепелин;
- ветка дерева.

23. Что необходимо учитывать при составлении дерева целей?

- производственные возможности участков производства;
- ограничения, накладываемые внешней средой по ресурсам и срокам;
- ограничения по срокам;
- и то, и другое, и третье.

24. В виде чего может быть представлено дерево целей?

- в виде графа;
- в виде графика;
- в виде цепи;
- в виде таблицы.

Ответы на контрольные вопросы

Раздел 1.1

1. Все вышеперечисленное является перспективами развития МЭМС-технологий.
2. И то, и другое возможно.
3. Позволяют визуализировать собеседника, слайды и т.д., проецируя видеоизображение на стену или экран (актуально для учебного процесса).
4. И то, и другое верно.
5. И то, и другое актуально.
6. Все вышеизложенное актуально в применении.

Раздел 1.2

1. И тем, и другим.
2. Всё вышеизложенное может характеризовать интегральные датчики неэлектрических величин.
3. Все вышеперечисленное может быть отнесено к датчикам первичной информации.
4. Содержат мембрану с неподвижными обкладками, образующими герметичную полость между обкладкой и мембраной (применяются для измерения давления в трубопроводах, определения высоты, скорости, воздушных условий в метательных аппаратах, в измерителях артериального давления).

Раздел 1.3

1. Актюаторы, которые преобразуют сигнал в какое-либо воздействие.
2. Все вышеизложенное верно.
3. И то, и другое верно.
4. Кремневые МЭМС для восстановления слуха снабжены звуковым сенсором и микропроцессором для разложения звуковой волны на Фурье компоненты.
5. И то, и другое верно.
6. И то, и другое верно.

Раздел 1.4

1. И то, и другое верно.
2. Всё вышеизложенное верно.
3. И так, и так.
4. Все перечисленные технологии могут быть использованы.
5. И то, и другое верно.

Раздел 1.5

1. Все вышеперечисленные особенности МСТ имеют место.
2. Чувствительный элемент.

3. Все вышеперечисленное верно.
4. Все вышеизложенное верно.
5. Все вышеперечисленное имеет место быть.
6. Все эти виды интеграций актуальны для МСТ.

Раздел 2.1

1. И то, и другое.
2. Нет, это снижает её точность.
3. В объёмном календарном планировании, устанавливающим объём производства по календарным срокам.
4. И тем, и другим.
5. Первое и второе верно.
6. И то, и другое последовательно.
7. Различным в зависимости от сложности общей задачи.
8. Возможно более точное формализованное описание поведения системы.
9. непрерывное улучшение ранее принятых решений за счёт адаптации исходной модели к условиям функционирования (концепция адаптации управления производством).
10. Из тех и других этапов.
11. Четыре.
12. Для взаимодействия с объектом непосредственно в реальном режиме времени (в задачу текущего контроля событий входит обнаружение событий, влияющих на решение по управлению).
13. Для установления цели и задания, подлежащих реализации на первом уровне (определяет остановки для управляющих устройств первого уровня, которые реализуются через заранее определённую последовательность действий).
14. Он выполняет функцию адаптации алгоритмов, используемых на первом и втором уровнях (основное отличие третьего уровня - учёт опыта работы в течение некоторого периода времени).
15. Он задаёт третьему уровню режим функционирования путём управления процессом решения задач.
16. На основе качественных оценок.
17. Идёт вверх по иерархии через общую базу данных.
18. Она является средством информационной интеграции уровней адаптации.
19. И то, и другое.
20. Совокупность информационных средств и ресурсов, объединяемых в единую систему.
21. Автономные информационные вычислительные службы, включающие в себе программные компоненты, базы данных, файлы данных и компоненты существующих информационных систем.

22. Системно организованная совокупность аппаратных, программных и транспортных средств и вычислительных ресурсов, включая организационную, методическую и правовую формы обучения.
23. Иерархическая организационная модель, содержащая всю информацию об изделии, требуемую на любом из этапов жизненного цикла изделия.
24. Единые средства и методы построения.
25. CALS/ИПИ – технологию.
26. И то, и другое.
27. Все варианты верны.
28. Два.
29. Автоматизацию отдельных процессов жизненного цикла изделия и представление относящихся к ним данных в электронном виде (в соответствии с требованиями ЕИП).
30. Интеграция в рамках ЕИП автоматизированных процессов и относящихся к ним данных, представленных в электронном виде.
31. Средством, обеспечивающим эффективное взаимодействие как новых, так и существующих автоматизированных систем проектирования и управления.
32. Два.
33. Интеграцию и управление информационными процессами при решении задач корпоративного, отраслевого, межотраслевого и межгосударственного сотрудничества.
34. И то, и другое, и третье верно.
35. Существующие прикладные программные средства (САПР, АСУП и т.п.) при условии наличия стандартного интерфейса к представляемым им данным.
36. Специализированные программные средства (системы управления данными об изделии PDM-Product Data Management).

Раздел 2.2

1. Создание производственно-технологических систем, отличающихся гибкостью, безопасностью и высокими эксплуатационными качествами.
2. И первое, и второе, и третье.
3. АСУМ.
4. По уровням;
5. И первые, и вторые, и третьи процессы актуальны и перспективны как тенденции развития ИАСУ.
6. И первое, и второе, и третье.
7. Все варианты верны.
8. Оба понятия применимы к концепции интегрированных технологий.
9. И то, и другое.

10. Она позволяет интегрировать, т. е. объединять в единую производственную систему составные автономные автоматизированные комплексы для технологических процессов, охватывающие все основные стадии и этапы производства микроструктуры изделия.
11. Системы, при создании которых реализован принцип нисходящего проектирования систем, выполняющие взаимосвязанные функции компонентов.
12. Методика построения, обеспечивающая согласованное достижение целей, каждая из которых не может быть достигнута за счет локального использования отдельных видов АСУ.
13. И то, и другое.
14. С учетом первого и второго.
15. К тому и другому.
16. И с тем, и с другим, и с третьим.
17. И с тем, и с другим, и с третьим.
18. Позволяет заранее выбрать для них стратегию управления.
19. Исходными данными являются характеристики и производственные ситуации, полученные на основании анализа аналогичных действующих предприятий (метод экспертных оценок).
20. И то и другое.
21. С использованием методов теории принятия решений.
22. Дерево целей.
23. И то, и другое, и третье.
24. В виде графа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии проанализированы перспективы развития интегрированных технологий в микросистемной технике. Особое внимание уделено тенденциям развития многоуровневой адаптации интегрированных автоматизированных систем управления и созданию единого информационного пространства.

Информационная культура является важнейшим требованием всего информационного пространства, в котором существует множество сфер, в том числе образовательного плана. В этом пространстве осуществляется большинство коммуникационных взаимодействий, в нем же приобретаются умения и навыки работы с современными техническими устройствами. Студент должен обладать всеми необходимыми компетенциями, позволяющими сформировать качественного специалиста, конкурентоспособного на современном трудовом рынке.

Учебное пособие может быть полезно студентам при выполнении проектных заданий, направленных на анализ и разработку различных производственно-технологических систем.

Предлагаемые в данном учебном пособии новые подходы к вопросам изучения и создания единого информационного пространства способствуют повышению уровня профессиональных знаний и приобретению студентами требуемых компетенций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наука за рубежом № 15. июль 2012. Ежемесячное обозрение. Электронное издание www.issras.ru/global_science_review
2. Адилов Ф. Т. Концепции и методы аналитического управления сложными технологическими системами: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.13.07: Ташкент, 2005.
3. Беленков А. Н., Овчинников В. А., Морозов С. И. Опыт проектирования дизайна и изготовления сложных прецизионных фотошаблонов с элементами компенсации оптической близости OPC (optical proximity correction) // Электронная техника. Серия 3: Микроэлектроника. – 2022. – № 3(187). – С. 45-51. – DOI 10.7868/S241099322203006X.
4. Бойков, В. И. Интегрированные системы проектирования и управления / В. И. Бойков, Г. И. Болтунов, О. К. Мансурова. — Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2010. — 163 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/40736> (дата обращения: 22.01.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Вольников, М. И. Интегрированные системы проектирования и управления: учебное пособие / М. И. Вольников; под редакцией И. А. Прошина. — Пенза: ПензГТУ, 2012. — 136 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/63560> (дата обращения: 21.02.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
6. Воронков О. В., Кабанов И. Н., Мещанов В. П., Сотов Л. С., Хвалин А. Л. Векторный дифференциальный магнитометр на пленке ЖИГ с доменной структурой // Радиотехника. 2015, № 1. С. 97–102.
7. Галперин В. А., Данилкин Е. В., Мочалов А. И. Процессы плазменного травления в микро- и нанотехнологиях / Под ред. Тимошенко С. П. М.: БИНОМ, 2018. 283 с.
8. Давыденко П. А. Повышение эффективности производства полупроводниковых материалов на основе управления технико-экономическими показателями: диссертация... канд. техн. наук: 05.13.06: Москва, 2007 161 с. РГБ ОД, 61:07-5/2374
9. Демин, А. М. Опыт разработки автоматизированной системы диспетчерско-технологического управления тепловыми сетями / А. М. Демин // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2007. – № 2. – С. 60-68. – EDN PJJZGZ.
10. Ефремов А. М., Квон К. Н. Кинетика реактивно-ионного травления Si, SiO₂ и Si₃N₄ в плазме C₄F₈+O₂+Ar: эффект соотношения C₄F₈/O₂ // Микроэлектроника. – 2021. – Т. 50, № 2. – С. 100-109. – DOI 10.31857/S0544126921020058.
11. Интегрированные системы проектирования и управления: Практикум: учебное пособие. — Москва: РТУ МИРЭА, 2020. — 68 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL:

- <https://e.lanbook.com/book/163903> (дата обращения: 22.01.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
12. Интегрированные системы проектирования и управления. SCADA: учебное пособие / Х. Н. Музипов, О. Н. Кузяков, С. А. Хохрин [и др.]; под редакцией Х. Н. Музипова. — Санкт-Петербург: Лань, 2018. — 408 с. — ISBN 978-5-8114-3265-3. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/110934> (дата обращения: 21.02.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
 13. Климин В. С., Морозова Ю. В., Коц И. Н., Вакулов З. Е., Агеев О. А. Формирования наноразмерных структур на поверхности кремния комбинацией методов фокусированных ионных пучков и плазмохимического травления // Микроэлектроника. 2022. Т. 51. № 4. С. 283-290.
 14. Коц И. Н., Полякова В. В., Морозова Ю. В., Коломийцев А. С., Климин В. С., Агеев О. А. Наноразмерная модификация поверхности кремния методом фокусированных ионных пучков // Микроэлектроника. 2022. Т. 51. № 3. С. 172-179.
 15. Красников Г. Я., Горнев Е. С., Мизгинов Д. С. Исследование электрических характеристик мемристорных структур на основе нитрида кремния // Электронная техника. Серия 3: Микроэлектроника. — 2022. — № 2(186). — С. 29-31. — DOI 10.7868/S2410993222020051.
 16. Лисицын С. А., Балакирев С. В., Авилов В. И., Коломийцев А. С., Климин В. С., Солодовник М. С., Коноплев Б. Г., Агеев О. А. Исследование режимов наноразмерного профилирования эпитаксиальных структур GaAs методом фокусированных ионных пучков // Российские нанотехнологии. 2018. Т. 13. № 1–2. С. 28–35.
 17. Лыков А. Г. Интегрированная информационно-управляющая система газовых промыслов предприятий Крайнего Севера: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06: Москва, 2003 246 с. РГБ ОД, 61:04-5/1756
 18. Миханьков В. Г., Рыбаков Ю. П., Санюк В. И. Модель Скирма и сильные взаимодействия // УФН. 1992. Т. 162. № 2. С. 1-61.
 19. Нанотехнологии в микроэлектронике // Под ред. Агеева О. А., Коноплёва Б. Г. М.: Наука, 2019. 511 с. ISBN 978-5-02-040201-0.
 20. Орлов О. М., Гисматулин А. А., Гриценко В. А., Мизгинов Д. С. Механизм транспорта заряда в бесформовочном мемристоре на основе нитрида кремния // Микроэлектроника. — 2020. — Т. 49. № 5. стр. 395-400.
 21. Проказников А. В., Папорков В. А., Чириков В. А. Управление положением магнитного вихря на наноструктурированной поверхности в элементах магнитной памяти // Микроэлектроника. 2022. Т. 51. № 1. С. 3-18.
 22. Проказников А. В., Папорков В. А. Исследование магнитооптических свойств структур на искривленных поверхностях для разработки элементов памяти на магнитных вихрях // Микроэлектроника. 2020. Т. 49. № 5. С. 380-394.
 23. Седегов, Р. С. От систем управления к интегрированным системам управления с применением электронно-вычислительной техники (краткий

- научно-исторический обзор) / Р. С. Седегов // Проблемы управления (Минск). – 2002. – № 2(3). – С. 108-117. – EDN YUKOFF.
- 24.Современные тенденции развития научных исследований по проблемам машиноведения и машиностроения / Н. А. Махутов, В. П. Петров, В. И. Куксова, Г. В. Москвитин // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2008. – № 3. – С. 16-37. – EDN JUGRON.
- 25.Тимошин И. К. Совершенствование автоматизированной системы управления разработкой газового месторождения за счет оптимизационного моделирования скважин сложного строения на этапе проектирования: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06: Москва, 2008. 205 с.: ил. РГБ ОД, 61 08-5/1641
- 26.Цибизов П. Н., Петрин В. А., Тарасов Д. Д. Вопросы сквозного моделирования технологического процесса изготовления устройств микросистемной техники // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2014. – №.1 (9). – С.121-125.
- 27.Шишов, О. В. Современные средства АСУ ТП: учебник / О. В. Шишов. — Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. — 532 с.
- 28.Юрчик, П. Ф. Проектирование и эксплуатация интегрированных автоматизированных систем управления. Лабораторно-практические работы: учебное пособие / П. Ф. Юрчик, В. Б. Голубкова, Д. О. Гусеница. — Санкт-Петербург: Лань, 2020. — 136 с.

Ткалич Вера Леонидовна
Коробейников Анатолий Григорьевич
Пирожникова Ольга Игоревна
Марусина Мария Яковлевна

Перспективы развития интегрированных технологий в микросистемной технике

Учебное пособие

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе

Редакционно-издательский отдел
Университета ИТМО
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, литер А